

Neuere Anschauungen über den Alpenbau, gewonnen an den Ostalpen, besonders an der östlichen Zentralzone.

Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft zu München, am 4. August 1923.

Von Herrn R. SCHWINNER in Graz.

Der Bau der Alpen, wohl die vornehmste und anziehendste Aufgabe der Geologen Europas, ist heute noch Gegenstand lebhaftester Kontroversen, und die Darstellungen, welche die verschiedenen Schulen von ihm geben, sind miteinander ganz unvereinbar. Da die Mehrzahl von den Westalpen ausgeht, so ist es vielleicht eine wünschenswerte Ergänzung, wenn im folgenden der Standpunkt am Ostalpenrande zur Betrachtung des Alpenproblems gewählt wird.

Die Ostalpen zeichnen sich vor den Westalpen geologisch in manchem aus, so durch ihre reichere Stratigraphie. Zum Ausgleich schießt auf dem Boden der halb- und ganzmetamorphen Gesteine die Deutung — je jünger, je lieber — üppig ins Kraut; was sich dem hartnäckig widersetzt, wird „metamorphes Paläozoikum“ genannt, Ähnlichkeit mit sicherm ostalpinem Paläozoikum fehlt meist. (Immerhin, es ist ein Fortschritt, daß man dort schon „paläozoische“ Marmore gelten lassen will!) Demgegenüber ist's von Nutzen festzustellen, daß in den östlichen Zentralalpen eine Sedimentserie des Grundgebirges sicher älter als Paläozoikum ist. In der Hauptmasse (einige Tausende von Metern) Abkömmlinge tonig-sandiger Sedimente, in der Mitte ein relativ schmales buntes Band: Marmore, basische Gesteine, Quarzite, kohlige Schiefer, Fahlbänder u. s. f.; je nach Lage im Gebirgsbau (entsprechend der Metamorphose) in verschiedener Tracht: Phyllit mit Grünschiefer — Glimmerschiefer (Granat, oft auch Staurolith und Disthen führend) mit Amphibolit (oft Granatf.) — Sillimannit-Gneis mit Eklogit. Gegen eine Deutung als metamorphes Paläozoikum spricht die stoffliche Verschiedenheit, im ganzen und in Einzelheiten (Lagerstättentypus), Diskordanz und Hiatus in der

Metamorphose überall an der Grenze gegen sicheres Paläoziakum, und daß granitisch-pegmatitische Injektion, in dieser Serie häufig, nirgends in sicherem Paläozoikum beobachtet wurde, auch wo dieses unmittelbar über oder neben Pegmatitgebieten liegt. Schlüssiges Belegmaterial liegt vorläufig erst etwa bis zum Katschberg vor, aber Züge dieser Gesteinsgesellschaft, gleich an stofflichem Bestand, Habitus und Bau, ziehen von hier fast ununterbrochen gegen W, an der Drau (wohl auch in der untern Schieferhülle?), Schneeberger Zug, Laaser Schichten bis zum viel berufenen Zug Ivrea—Tonale. Parallelen auf so weite Entfernung kann man annehmen oder ablehnen, aber die Ähnlichkeit, um nicht zu sagen Gleichheit, der genannten Serien kann man nicht bestreiten.

Dem erwähnten Reichtum der Ostalpenstratigraphie war die Erkenntnis zu verdanken, daß die Alpenfaltung in mehreren Phasen stattgefunden hat. Die älteste orogenetische Ära ergriff (Ende Algonium?) nur die oben beschriebene Gesteinsserie, Spuren ihrer tief abradierten Falten sind in den Brettsteinzügen (Marmore und Begleiter¹⁾) erhalten. Mit dieser Faltung, anschließender granitischer Intrusion, pegmatitischer Injektion und regionaler Metamorphose war Tektonik und Gesteinscharakter — in der Hauptsache wie heute — für das Kristallin der östlichen Zentralzone festgelegt — vor Paläozoikum also, daher stets Diskordanz und Hiatus in der Metamorphose. Die jungpaläozoische Ära können wir bereits in mehrere Phasen gliedern, dank dem, daß, besonders in den Karnischen Alpen, die über diesem Kristallin²⁾ liegenden Schichten ab Silur Fossilien führen: eine Faltung liegt zwischen Clymenienkalk und Carbonschiefern, vielleicht liegt in diesen zwischen Nötscherschichten (=Visé) und Auernigschichten (=Ottweiler) eine weitere Faltungs-diskordanz³⁾; die nächste tektonische Lücke liegt zwischen Trogkofelkalk und Grödner Sandstein (d. h. in der unteren

¹⁾ Ausführlicher: R. SCHWINNER: Die Niederen Tauern. Geolog. Rundsch. XIV, 1923; S. 34, 51, 55.

²⁾ Auch im Gailtal. Trotz V in a s s a d a R e g n y kann ich die Sch. des Grundgebirges, die strichweis Granat und Biotit führen, nicht für metamorphes Karbon halten. Anderswo mehr darüber.

³⁾ Die Nötscher Serie schließt ab mit mächtigen Konglomeraten, die stellenweise schon den Diabas der Liegenden Karbonschichten, meist aber nur Quarzgerölle führen, und dann ganz gleich jenen sehen, die an der Basis des Auernig liegen.

Dyas). In der eigentlich „alpinen“ Faltungssära folgt auf einleitende Bewegungen (Jura-Kreidegrenze, Cenoman?) ein Höhepunkt in der vorgosauischen Faltung, und eine ähnliche Steigerung scheint von den schwachen tektonischen Bewegungen des Alttertiärs zum Paroxysmus der mitteltertiären Faltung zu führen. Doch auch später haben noch beträchtliche tektonische Umwälzungen stattgefunden. Die vorpontische Phase ist schon länger bekannt, ihr ist wohl die Einfaltung unserer inneralpinen Süßwassertertiärlappen zuzuschreiben; in letzter Zeit sind aber noch jüngere tektonische Vorgänge, bis Mitte Diluvium, in den Ostalpen nachgewiesen worden⁴⁾.

Allerdings hat man diese jüngsten tektonischen Vorgänge in den Alpen — hauptsächlich wegen des einfachen Bewegungsbildes, das ihnen zugrunde liegt — nicht als Faltung (orogenetisch) anerkennen, sondern als epirogenetisch deuten wollen. Mit Unrecht: sie sind ebenso streng episodisch (STILLE) wie einer der anerkannten Faltungsakte, schließen mit normalem Intervall an die bekannte Folge der orogenetischen Phasen an und das von ihnen betroffene Gebiet gliedert sich restlos in die alpine Faltungszone ein. Daß es sich nur um weiträumige Verbiegungen handelt, ist nicht direkt beobachtet. Die nachgewiesenen Verstellungen dürften aber ganz gut mit jenem Dislokationstyp verträglich sein, der auch sonst viel in den östlichen Alpen zu sehen ist: Größere Krustenteile werden ziemlich einheitlich gehoben, gesenkt, gekippt, schwach verbogen, am Rand dieser Blöcke aber entstehen Verwerfungen, Flexuren, Falten und kurze Überschiebungen. Das hat man immer als Faltung bezeichnet.

Übrigens, wichtiger als ein Streit um Definitionen oder leere Worte, wird jedem Geologen, der es ernst mit dem Aktualitätsprinzip nimmt, die Frage sein, ob nicht jenes einfache Bewegungsbild der jüngeren tektonischen

⁴⁾ O. AMPFERER: Über die Bohrung von Rum bei Hall in Tirol. Ib. geol. Staatsanst., Wien 1921, 71—84.

A. PENCK: Die Terrassen des Isartales in den Alpen. — Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglacialzeit in den nördlichen Alpen. Sitzberl. Akad. Berlin, phys.-math. Kl. 1922, 182—251.

— Die letzten Krustenbewegungen in den Alpen. Geol. Fören.: Stockholm Förh. 44, 5, 1921, 607—622.

R. SCHWINNER: Die Oberflächengestaltung des östlichen Saganergebietes. (S. O. Tirol) in „Ostalpine Formenstudien“ III, 2. S. 77 ff., 104, 114.

Phasen auch bei den älteren Faltungen eine Rolle gespielt hat, ob es nicht gar möglich wäre, durch eine Aufeinanderfolge solcher einfacher Faltungsakte viele Bilder alpiner Tektonik entstehen zu lassen. Wo die Faltung stark ist, wie in den westlichen Alpen, ist der Entwicklungsgang schwer zu entziffern, dagegen wo sie ausklingt, in der östlichen Zentralzone, sehen wir nebeneinander Formen verschiedener Stadien der tektonischen Entwicklung, wie sie im ersten Fall nacheinander gefolgt sein könnten.

Die einfachste Form zeigt Hebungs- und Senkungsgebiet durch Flexur verbunden. Klassische Beispiele in den Südalpen⁵⁾ (venetianische Außenzone: 7 Gemeinden, Alpen von Feltre, Grappa u. s. f.) aber auch in der kristallinen Zentralzone; dort allerdings nur sicher kenntlich, wo ruhig gelagertes Grundgebirge mit plötzlicher Abbeugung unter jüngere Schichten taucht: Rand des Grazer Paläozoikums (bes. in Radegund), das Murauer P. bei Oberwölz, das Turracher P. (N. vom Ort), wahrscheinlich gehört auch der N-Abschwung von Wildstellen- und Seckauer Massiv hierher. Manche Senkungsfelder sind von Brüchen statt von Flexuren umgrenzt, meist jüngere, randlich gelegene: Kainach-Gosau, Wiener Becken u. s. f. Kaum ein prinzipieller Unterschied, eher im Gestein begründet: spröde Kalkplatten statt biegsamer Schiefer.

Das erste Stadium der Faltung dürfte also darin bestanden haben, daß die Gebiete mit Hebungstendenz als breite Bergmassive heraustraten, beiderseits von Flexuren (bzw. Brüchen) begrenzt; große Kofferfalten, etwa vergrößerter Typus des W-Jura. Die nächste tektonische Phase — wieder eine vom Untergrund ausgehende Verschmälerung des Faltungsstreifens — schaltet an den Rand des Koffers (zwischen Hebungs- und Senkungsgebiet) Falten, Schuppen, Überschiebungen, durch welche die Raumverschmälerung über der „Verschluckungszone“ wettgemacht wird. Ganz ähnlich — für sich betrachtet — wirkt der folgende Akt, aber seine Verschluckungszone wird gegen die des vorangegangenen ein Stück verschoben sein; und in diesem Zwischenstück werden, während außen die

⁵⁾ Neuestens wird oft und gern von „weiträumigen Verbiegungen“ gesprochen. Ob sie wirklich so häufig sind? In diesen vollkommen überblickbaren Gebieten kommen sie kaum vor; sondern im Großen und Kleinen, wenn die Schichtplatten nach abwärts gehen sollen, tun sie's plötzlich, mit scharfer Knieabbeugung.

neue Faltung die alte einfach fortsetzt, die neuen Bewegungsbahnen die alten überkreuzen, und derart diesen Krustenstreifen vom Untergrund völlig ablösen, und zwar so, daß er beiderseits randliche Überschiebungen zeigt. Hier anzuschließen ist die Bemerkung, daß schon rein geometrisch die Unmöglichkeit erhellt, daß sich das Bewegungsbild der Oberfläche eines Faltengebirges (z. B. Jura, Säntis) kontinuierlich in die Tiefe fortsetze; das obere Faltenstockwerk muß sich vom Untergrund lösen, am Ort geringsten Widerstandes oder stärkster Beanspruchung, was am ehesten für die Grenzfläche mechanisch verschieden reagierender Gesteinskomplexe zutreffen wird. (Salzton — Muschelkalk im Kettenjura, Ladinische Mergel — Riffkalk in den Dolomiten u. s. f.) Also: es kann eine Scholle durch ein Netz von Bewegungsflächen völlig vom Untergrund gelöst sein, ja sogar beiderseits randlich überschoben sein, ohne daß sie besonders weit vom Platze bewegt worden ist. Der Nachweis der Ablösung („wurzellosen Schwimmens“) besagt gar nichts über das Ausmaß der Verfrachtung.

Seinerzeit hat man es als großen Fortschritt gepriesen, wie die Doppel- und Pilzfalten durch die großartigen Fernüberschiebungen ersetzt wurden. Schlüssige Beweise, warum man zu so extremen Hypothesen greifen müsse, fehlen auch heute noch, ja es ist sogar noch nicht einmal gelungen, ein schmerzlos vorstellbares Bild der supposeden mechanischen Vorgänge zu geben⁶⁾. Dagegen lassen sich jene alten Begriffe ganz gut neueren Vorstellungen anpassen, wenn man nur nicht fordert, daß das heutige tektonische Bild mit allen seinen Komplikationen aus einem Guß entstanden sein müsse, sondern beachtet, daß die sogenannte „Alpenfaltung“ aus lauter kleinen Einzelrücken und -schüben besteht, deren Wechselwirkung den tektonischen Bau Schritt für Schritt entstehen läßt. Da in den Ostalpen die Intensität der Faltung von Ort zu Ort stark wechselt, treffen wir primitive tektonische Formen neben stark ausgearbeiteten und können aus diesem Nebeneinander das Nacheinander der Entwicklung belegen. Schon an den einfachsten Koffern (Grappa, Pavione usw.) sind die Mittelschenkel der Flexuren vielfach ausgedünnt, gezerrt, gebrochen; die Tafel der sieben Gemeinden hat, wenn

⁶⁾ HEIM, ALB., Geologie der Schweiz, Bd. II/1, S. 30; Z. 11 von oben und Z. 8 von unten.

auch nicht durchgängig, Überschiebungen nach beiden Seiten. Schärfer ausgesprochen ist dieser Typ in den N- und S-Überschiebungen der Steiner Alpen, in größerem Maßstab in den Kalkalpen N von Salzach und Enns: die südwärts aufspringenden Schuppen des Südrandes sind das mechanische Korrelat der gegen N vorgetriebenen Überdeckungen der N-Seite; sie sind der Keil, der den Schlitten am Rückgleiten gehindert hat; die Kraft, welche die riesigen Kalktafeln von Hochkönig, Tennengebirge, Dachstein auf diesen steilen Bewegungsflächen gegen S kurz aufgefahren hat, ist gleich groß wie die, welche die Überschiebungen in die Randsenken nordwärts vorgetrieben: *actio par reactionis*. Das Endglied dieser Reihe ist eine völlig abgelöste ohne Wurzel und Stiel schwimmende Schubmasse wie die Berchtesgadener. Im Kristallin sind die Verhältnisse weniger übersichtlich: anstelle der Flexuren, welche meist die Massive umranden (s. oben), zeigen kurze Aufschiebungen das Seckauer M. über die Pöls—Fohnsdorfer Senke, Amering—M. über die von Obdach, Bundschuh—M. über die Katschbergsenke. Aber schon der NW-Sporn des Seckauer M., der Bösenstein, hat nach beiden Seiten anormalen Kontakt; es würde nur geringen weiteren Zusammenschub brauchen, um über dem Triebener Winkel ein tadelloses Scherenfenster zu bilden, in dem das Verhältnis von Bösenstein—Paläozoikum der Sunk—Seckauer Hauptmasse ganz das gleiche wäre, wie das von Silvretta—Engadiner „Fenster“—Ötztaler Masse. Die parallele Entwicklungreihe der tektonischen Hohlformen beginnt mit Senkungszonen, die von einfachen Flexuren und Brüchen umrandet sind. Im weiten Klagenfurter Becken ist bereits der eine, der S-Rand von den Karawanken her scharf überschoben; ähnlich, aber viel brüscher, stehen an der schmalen Ennssenke die südwärts aufspringenden Schuppen der Kalkalpenbasis der N-blickenden Randflexur der Niederen Tauern gegenüber. Sehr lehrreich ist, daß das Belluno-becken, das in seinem Hauptteil breit zwischen zwei gewöhnlichen Flexuren liegt, gegen W einen Zipfel entsendet, der in V. Coalba von beiden Seiten her scharf überschoben, wie in einer enghalsigen Flasche drinsteckt. Eine Extrembildung ist dann das „Scherenfenster“, ein Ausdruck, der trotz seiner plastischen Deutlichkeit nicht gut ist; denn „Fenster“ bezeichnet eine Erosionslücke durch eine einheitliche Decke hindurch, das sog. Scherenfenster ist aber kein Erosionsgebilde, sondern eine zugeklappte

Doppelfalte, und aus zwei ungleichen Rahmenstücken gebildet, also eher das Gegenteil eines Fensters! Zuletzt kann eine Innensenke, besonders wenn anfangs schon nicht allzubreit, ganz zusammengeklappt und pseudokonkordent eingefaltet werden: Matreier- und Krimmlerzone. Sieht man von O gegen die Alpen herein, so gewinnt man keineswegs den Eindruck eines geschlossenen, wie aus einem Guß gebildeten Körpers — wie ihn die im W entstandenen Theorien voraussetzen — im Gegenteil, Kalk- und Zentralalpen, ja sogar die einzelnen Ketten und Massive scheinen nur ganz locker gebündelt, durch tiefe Furchen und breite Senken getrennt. Diese sind nicht etwa junge Erosionsgebilde, sondern nach Ausweis der Stratigraphie ist diese Gliederung uralt. Die breiten Furchen, jene, die heute die nördlichen Kalkalpen abtrennt (Enns—Mur—Mürz) und jene, welche die Zentralzone in zwei Äste spaltet (obere Mur), die längs Pöls—Obdach—Lavanttal, das Becken von Graz, jenes von Klagenfurt usw. sind schon Anfang Miozän Tiefenlinien gewesen, breiter und flacher allerdings, aber die Ausbildung des Süßwassermiozän zeigt klar, daß es sich um schon ursprünglich gesonderte Becken handelt. Für Alttertiär und Oberkreide sind Zeugnisse spärlich, Kainach und Krappfeld beweisen für damals den Bestand des steirischen und Kärntner Beckens. In der Transgression des Mesozoikums sind gleichwohl die alten Gebirgskerne als Untiefen, Landschwellen, ja Inseln, vielfach noch zu spüren; wo zwischen den Zentralmassiven Trias usw. liegt, ist die Serie verkümmert und zeigt Spuren geringer Meerestiefe und Landnähe. In der Untertrias ist das ganze zentralalpine Inselgebiet umrandet von Haselgebirge, Gips und Rauchwacken; auch in späteren Perioden trennt dasselbe die Meeresgebiete: die Fazieszone der Lombardei spaltet sich in Tirol in zwei Äste, das tiroliische Gebiet der N-Alpen und das des Drauzuges, welche durch jene nur gelegentlich überflutete Schwelle getrennt werden. Auch die bekannten Fundstellen des sog. Pflanzenkarbon gliedern sich dem Rand der Zentralmassive an; und im Altpaläozoikum liegen Magnesit—Siderit—Sulfidische Lagerstätten in drei Gürteln in eben dieser Reihenfolge von innen nach außen vom Inn über Salzach—Enns—Mur bis zur Mürz, und über Turrach wieder hinab gegen die Drau so offenbar die zentralalpinen Inselgebiete umkränzend, daß man an eine Analogie mit der salinaren Untertrias-denken möchte.

Diese Entwicklung, in der die tektonischen Elemente in geschlossener Kette aneinandergereiht sind, nimmt, so weit wir zurückblicken können, ihren Ausgang von den alten Gebirgskernen, in denen ein alter Granit und die nachfolgenden Tiefen- und Ganggesteine ein sogenanntes „Massiv“ zusammengeschweißt haben. Das sind tektonisch und auch morphologisch ausgezeichnete Gebiete, die wegen ihrer unverwüstlichen Hebungstendenz stets als Hochgebiete, Inseln oder Berggruppen, als wahre Zentren des Gebirges sich behauptet haben. Die Zwischenräume zwischen den Massiven zeigen dauernd Senkungstendenz; es sind Geosynkinalen, welche mit Sedimenten ausgefüllt und nach und nach (episodisch) als Falten an die Massive angegliedert werden. Das Gebirge ist nicht mit einem Mal entstanden; es ist von den alten Massiven wie Kristallisationskeimen und -zentren beginnend, nach und nach im Laufe ungeheurer geologischer Zeiten, auch unter gelegentlichen Rückschlägen, zusammengewachsen. Hier am Ostende der Alpen ist diese Verschweißung nicht so eng und gründlich gewesen, daß man nicht heute noch die Nähte kennen könnte; ja einzelne Trennungsfurchen sind als breite Innensenken erhalten geblieben, so das Klagenfurter Becken, das die Südalpen abspaltet. Und weil im O die tektonischen Elemente auseinandertreten, nicht wie im W einander drängen und überkreuzen, kann man hier den Entwicklungsgang verfolgen, der von den alten Massiven und den ältesten sie umkränzenden Geosynkinalen und Faltengirlanden bis zu den Hoch- und Tiefgebieten der heutigen Oberfläche in lückenloser Geschlossenheit führt⁷⁾.

Eine Folgerung aus der gegebenen Darstellung des tektonischen Entwicklungsganges ist, daß bei jedem Faltungsakt immer nur schmale Faltungszonen stärker durchbewegt werden, große Gebirgsteile aber fast undeforiniert einfache Blockbewegungen ausführen. Anfangs war fast das ganze Gebiet Geosynklinale, Tummelplatz für die gebirgsbildenden Kräfte; als die Massive gruppenweise zu festen Blöcken zusammengeschweißt worden, rückte die Faltung an den jeweiligen Rand, immer weiter nach außen. Das läßt sich auch durch Beobachtung der Kleintechnik (Gefüge und Fazies der Gesteine) belegen. Fast das ganze Grundgebirge der östlichen Zentralzone

⁷⁾ Etwas mehr darüber in SCHWINNER, R.: die Niedern Tauern. Geol. Rundsch. Bd. XIV, 1923, S. 155 ff.

(einige granitische Gesteine ausgenommen) zeigt heftige Durchbewegung, aber ebenso allgemein ist eine regionale Metamorphose — etwa zweite bis dritte Tiefenstufe GRUBENMANNS, oder Amphibolit- bis Eklogitfazies nach ESKOLA — darübergegangen (vermutlich sind jene posttektonischen Granite mit jener Met. gleichzeitig). Sicheres Paläozoikum zeigt niemals weder diese Metamorphose noch granitische Injektion. Bau und Tracht des Grundgebirges war also schon vorpaläozoisch größtentells ausgearbeitet. Große Gebiete sind so verblieben, schmale innere Störungszonen zeigen nachträgliche Kataklase, allgemein ist Kataklase und Diaphthorese in den Randzonen gegen die großen Senken, wo vielfach auch Paläozoikum in gleicher Tracht in die Faltung einbezogen ist (Grauwackenzone Enns—Palten—Liesing—Mur—Mürz, Obere Mur, Umrandung des Grazer Beckens, längs der Drau in Kärnten usw.), die Hauptmasse des Paläozoikums ist aber wenig oder garnicht metamorphosiert, d. h. sie zeigt keine Umkristallisation, sondern nur rein mechanische Umformungen, und das oft nur längs schmalen Bewegungszonen. In noch höherem Maße gilt dies fürs Mesozoikum, das diese Stufe der Metamorphose (etwa Grünschieferfazies ESKOLAS) nur an wenig Stellen erreicht, so in den zwischen Hochaim und Schladminger Massiv eingeklemmten Falten der Radstädter Tauern⁸⁾. Unverkennbar, daß die Zone der Faltung und Durchbewegung immer mehr nach außen rückte, und daß große Teile der Zentralzone von der alpinen, ja selbst von der varistischen Faltung höchstens randlich ergriffen worden sind.

Auch die physikalischen Zusammenhänge, welche die Faltung an die Grenze zwischen Hoch- und Tiefgebiet knüpfen, können wir bereits teilweise übersehen. In gewissem Grade beeinflussen Festigkeits- und Druckverhältnisse der Kruste die neue orogenetische Bewegung: am Rand der Massive verschmäler sich der Querschnitt der Kruste, verringert sich somit deren rückwirkende Festig-

⁸⁾ Allerdings fraglich, ob hier nur normale Durchbewegungs-Metamorphose vorliegt. Gerade diese N-S-Zone begleitet eine auffällige Pyritimprägnation ohne Niveaubeständigkeit, in mesozoischen „Pyritschiefern“, im Twenger Kristallin und über den Katschberg bis in die Serizitschiefer von Gmünd und Amphibolite von Radlbad. Es liegt nahe, dies zusammen mit den Tauerngoldgängen auf tiefenmagmatische Vorgänge zu beziehen, welche von den orogenetischen Umwälzungen ausgelöst worden wären. Über analoge Vorgänge in Schweizer Zentralmassiven vgl. KOENIGSBERGER, J., besonders N. J. Beil. Bd. 26, S. 543.

keit, auch besteht hier bereits ein Überdruck, der die aufgestapelten Massen gegen die Senke drängt. Doch das sind nur Einflüsse zweiter Ordnung, die eigentliche gebirgsbildende Kraft stammt nicht aus der Kruste, sondern aus dem Energievorrat des Untergrundes; ihre Quellen sind die Temperaturgefälle in demselben, vertikal und horizontal, und nur insofern die Kruste mehr oder weniger Wärme abströmen läßt, beeinflußt sie mittelbar das Triebwerk der gebirgsbildenden Vorgänge. Unter den wassergekühlten Geosynklinalsenken entstehen absteigende Konvektionsströmungen⁹⁾, und an diese schließt sich ein zyklonales Stromsystem an, das seitlich Ersatz für die abgesunkenen Massen ansaugt. Diese Unterströmung führt die auf dem schweren Magma schwimmenden Krustentafeln gegeneinander und staut sie über der „Verschluckungszone“ — dem Ort des absteigenden Konvektionsstromes — nach Art einer Ei-pressung übereinander. Die alten Massive dagegen schützen den Untergrund, teils durch größere Dicke der Kruste, teils durch die nur langsam erkaltenden plutonischen Einlagerungen vor Wärmeverlust, unter ihnen artet das vertikale Temperaturgefälle nicht so sehr aus und kann daher kein Konvektionsstrom entstehen. Der Vorgang der Intrusion besteht eben darin, daß aus dem Magmauntergrund in mehrfacher Saigerung stets die leichteren Massen weiter aufsteigen. Eine derartige Schichtung, in der das von Natur spezifisch Leichtere stets oben liegt, ist ungemein stabil, und daher tauchen die Massive jeder Umwälzung zum Trotz, wie Korke im Pech, immer wieder empor. Der Sitz der gebirgsbildenden Kraft projiziert sich auf die Erdoberfläche in die Randzone zwischen Massiv und Senke. Nach welcher Seite der „einseitige Schub“ geht — richtig ausgedrückt, welche der beiden gegeneinander bewegten Tafeln sich oben über die andere schiebt — hängt von Nebenumständen ab (Höhenlage, alte Bewegungsbahnen usw.) und ist nicht wesentlich. Die Schubrichtung steht ungefähr (d. i. abgesehen von der kleinen Coriolis-Ablenkung und ev. Stromstauungen) senkrecht zur Trennungslinie. Grenzen wir die betreffenden Gebiete in den Alpen ab, so gibt das ein ziemlich kleinstückliches Mosaik. Daß trotzdem ein großzügiger und einheitlicher Bau entstanden ist,

⁹⁾ Vgl. dazu die ausführlichere Darstellung: SCHWINNER, R. Vulkanismus und Gebirgsbildung. Z. f. Vulkanol. Bd. V. S. 175 bis 230; auch SCHWINNER, R., Die Niedern Tauern. Geol. Rdsch. Bd. XIV, 1923, S. 159—160.

kommt daher, daß aus den mechanischen Impulsen, die entsprechend jenem Netz von Trennungslinien kreuz und quer durcheinander zu laufen scheinen, sich doch eine einheitliche Komponente heraussondert, die eines Zusammenschubs senkrecht zum Rand der Kontinentaltafel.

Anscheinend sind die ältesten Strukturlinien die NW—SO streichenden Massivreihen: Böhmerwald—Steirische Massive—Agram—Rhodope—Silvretta—Oetztal—Brixen—Asta—(Adriatis) usw. Aber schon zu Beginn unserer Geologischen Geschichte war das nicht mehr Richtung des Kontinentalrandes, jene Gebirgszüge liefen als Halbinseln und Inseln hinaus in die O—W sich erstreckende Tethys. Der Widerstreit jener alten Struktur gegen die jungen Faltungen, die mit W—O-Streichen der Hauptrichtung des Geosynkinalgebietes folgen, ist der Kern der tektonischen Geschichte der Alpen, besonders der älteren. Nach jeder Überwältigung durch die Faltung leben in den Ruhezeiten die alten Quersenken wieder auf (wie stratigraphisch vielfach zu belegen: Rhein—Etschbucht, Brenner, Radstädter Senke usw.) und manche unserer jüngsten tektonischen Linien wiederholen „posthum“ jene älteste Streichrichtung (Pöls-Lavantüberschiebungen, Brüche im mittelsteirischen Becken u. s. f.). Was die Ursache dieser ungeheuren Umwälzung war, welche die Struktur eines ganzen Erdteils umgekämpft und einen Küstenstrich von ursprünglich echt atlantischen Typus in eine Art von pazifischen umgeformt hat, davon wissen wir wenig. Wir können nur vermuten, daß die Lage des Alpengebietes an der Ecke eines Kontinentalblocks, wo sich die von den anstoßenden Ozeanräumen ausgehenden Impulse kreuzen mußten, an der Komplikation schuld hat. Vielleicht werden wir klarer sehen, wenn der malayische Archipel genau bekannt sein wird, der heute sowohl in Gliederung als in der Lage an einer Ecke der Festlandsmasse ein recht gutes Bild dessen gibt, wie die Alpen noch im Mesozoikum ausgesehen haben dürften¹⁰⁾.

Zusammenfassung: Grundgedanke dieser Darstellung ist die ernstliche Einführung des Aktualitätsprinzips in die Alpentektonik. Der verwinkelte Bau der Alpen ist aufzulösen in die Summe der Wirkungen einer Folge von vielen kleinen Rücken und Schüben, jeder einzelne

¹⁰⁾ Vgl. auch DEECKE, W. diese Zeitschrift 1917, M. B. 44.

mit verhältnismäßig einfachem Bewegungsbild. Den Wechsel zahlreicher aber kurzer tektonischer Episoden mit langen Ruhezeiten bezeugen stratigraphische und morphologische Beobachtungen, gerade in den Ostalpen, die auch in anderer Hinsicht wegen ihres weniger gedrängten Baues sich zum Ausgangspunkt solcher Untersuchung eignen.

Der älteste erkennbare Zustand unseres Gebietes (vermutlich Algonkium) zeigt eine Anzahl Massive, die als Ausläufer alter NW—SO streichender Großfalten (des Böhmerwaldes usw.) in die große W—O-streichende Geosynkinalzone vorsprangen. Die Massive sind Gebiete der Hebung, die dazwischenliegenden Geosynkinalfurchen solche der Senkung, Sedimentation, aber auch nachträglicher Auffaltung. Die Hebungsgebiete werden durch Angliederung von Faltenzonen vergrößert, die Geosynkinalen entsprechend verkleinert, schmale Senken können ganz ausgefaltet und benachbarte Massive derart zu größeren geschlossenen Massen zusammengeschweißt werden. Diese spielen weiterhin der Faltung gegenüber die gleiche Rolle wie die ursprünglichen Einzelmassive; nach Ausweis von Gefüge und Fazies der Gesteine sind große Teile der Zentralzone seit Paläozoikum, ja manche seit Ende Algonkium vielleicht, von tektonischer Durchbewegung nur mehr randlich ergriffen worden.

Die Intensität der Faltung ist in den lose gebündelten Ostalpen nicht überall die gleiche, viele Teile sind in mehr, minder primitiven, wenig ausgearbeiteten Stadien stehen geblieben, so daß es möglich ist, aus diesem Nebeneinander die Formenreihe mit Beispielen zu belegen, welche in der Entwicklung heftiger gestörter Gebiete nacheinander durchlaufen wird: einerseits vom horstähnlichen Koffer bis zur völlig abgelösten Schubmasse (ohne daß große Förderlänge dazu nötig gewesen wäre), andererseits von der breiten, von Flexuren eingefaßten Mulde über Doppelfalte, Scherenfenster zur pseudoisokinalen Einfaltung. Der Gebirgsbau entsteht nicht durch grundstürzende Umwälzung, die Umbildung ist so langsam und stetig, und sie schließt so eng an die einmal angelegten Leitlinien an, daß ganz alte Strukturen noch in der jüngsten Tektonik durchscheinen (und mittelbar daher in der Oberflächengestaltung), während andererseits auch wieder jeder der vielen tektonischen Akte seine Eigenheit hat und einen jener Schnörkel zur Fassade des Baus beisteuert, deren Überwuchern die Erkennung der Grundlinien so schwer macht.

Dieser engen örtlichen Verknüpfung, welche die Faltung an die jeweilige Grenzzone zwischen Hebungs- und Senkungsgebiet bindet, an die älteren plutonischen Zentren die jüngeren Durchbrüche anreih't usw., wird am besten die Unterströmungstheorie gerecht, welche die Energie zur Gebirgsbildung aus dem unmittelbaren Untergrund stammen läßt. Das Verhalten der Kruste zur Wärmeabfuhr (Wasserkühlung der Geosynkinalen!) bewirkt Gleichgewichtsstörung und Instabilität im Untergrund, am stärksten im Grenzgebiet zwischen Hebungs- und Senkungszone; das führt zu Konvektionsströmungen, diese wieder zu Faltungen, naturgemäß eben in jener Grenzzone. Analog wie die Faltung an die Massivränder, binden die Wärmeverhältnisse im Untergrund die jungen an die vorausgegangenen plutonisch-vulkanischen Vorkommnisse. Herzuheben ist, daß sich Lage und Abgrenzung der Gebiete bestimmter geophysikalischer Eigenart seit geologischen Zeiten nicht viel geändert hat: die alten Hebungsgebiete funktionierten noch letzthin als solche, an die alten Intrusionen schließen sich die jüngeren Durchbrüche eng an, im Gebiet der ursprünglichen Geosynklinale findet man trotz deren starker Einengung noch einige große Senken. Die Oberfläche kann ihre Lage zu den Energiequellen der genannten Vorgänge nicht viel geändert haben; trotz Faltung muß jede größere Scholle in der Hauptsache noch auf demselben Stück des Untergrundes liegen wie anfangs — leicht verständlich, wenn beide im Verhältnis von Strom und Drift zu einander stehen, was in gewissem Sinne wohl auch noch als „autochthon“ bezeichnet werden kann.

Damit ist umrissen, wie man die Beobachtungen über Gebirgsbau, Gesteinsgefüge, Oberflächengestaltung der Ostalpen zu einem einheitlichen Bild wird vereinigen können, wobei die Darstellung nur mit Vorgängen arbeitet, die einzeln durch unmittelbare Beobachtung belegbar sind. Die zugrunde gelegte geophysikalische Theorie ist in sich ohne Widerspruch, sie verwendet nur in der Physik schon lange eingebürgerte Begriffe und Bilder, überhaupt kann von der Annahme schwer vorstellbarer, ungeheuerlicher und katastrophaler Ereignisse gänzlich abgesehen werden.